

## Исследование возникновения и развития трещин при упрочнении деталей подвижного состава индукционно-металлургическим способом

И. К. Самаркина<sup>1</sup>, А. А. Соболев<sup>1</sup>, Н. А. Битюцкий<sup>1</sup>, И. В. Павельев<sup>2</sup>,  
С. А. Стопницкий<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

<sup>2</sup>ООО «РемТрансМаш», Российская Федерация, 199155, Санкт-Петербург, Реки Смоленки набережная, дом 35, корпус 1а, помещение 49-н, офис 2

**Для цитирования:** Самаркина И. К., Соболев А. А., Битюцкий Н. А., Павельев И. В., Стопницкий С. А. Исследование возникновения и развития трещин при упрочнении деталей подвижного состава индукционно-металлургическим способом // Бюллетень результатов научных исследований. — 2023. — Вып. 1. — С. 105–113. DOI: 10.20295/2223-9987-2023-1-105-113

### Аннотация

**Цель:** Проведение исследования по получению данных о появлении и распространении трещин в наплавленном индукционно-металлургическим способом слое, влияние трещин на безопасность эксплуатации детали и ее ресурс. **Методы:** Используя металлографические исследования, проведен анализ образцов автосцепного устройства с наплавленным ИМС слоем. **Результаты:** По результатам исследования подтверждено нераспространение трещин из наплавленного слоя в основной металл детали. **Практическая значимость:** Проведенное исследование оценки наличия и распространения трещин дало возможность доказать безопасную дальнейшую эксплуатацию детали без потери ее работоспособности или ухудшения конструкции или технических характеристик.

**Ключевые слова:** Индукционно-металлургический способ, детали подвижного состава, упрочнение, наплавленный слой, износостойкое покрытие, автосцепное устройство, ресурс, срок службы.

### Введение

В подвижном составе узлы трения от общей массы конструкции составляют порядка 10 %, однако в эксплуатации число отказов по их вине достигает до 80 % [1].

Из-за износа деталей происходят потеря работоспособности узлов подвижного состава и сокращение их ресурса и срока службы.

С целью обеспечения надежности и долговечности узлов вагонов, безопасности движения поездов необходимо найти причины их выхода из строя и найти решения по устранению или недопущению дефектов, особенно в узлах трения — колесные пары [2, 3], гасители колебаний, поглощающие аппараты, корпуса автосцепок и другие [4, 5].

Одним из методов увеличения эксплуатационного ресурса тяжело нагруженных деталей подвижного состава, работающих в режиме сухого трения, является наплавка индукционно-металлургическим способом (ИМС) [6, 7].

ООО Корпорация «Сплав-ЛТД» разработала и внедрила технологию упрочнения индукционно-металлургическим способом (ИМС) деталей локомотивов, пассажирских и грузовых вагонов путем нанесения защитного износостойкого покрытия с заданными служебными характеристиками, превышающими характеристики сталей 20ГФЛ, 20ФТЛ.

При повышении надежности и долговечности работы основных узлов вагона, упрочненных индукционно-металлургическим способом, возможно снижение эксплуатационных расходов в пассажирском, грузовом и локомотивном хозяйствах. В качестве примера рассмотрим упрочнение автосцепных устройств, которое позволит сэкономить на каждой тысяче автосцепок 5 т наплавочных материалов, 200 000 чел.-ч трудовых затрат, 2 тыс. станко-часов, 500 тыс. кВт-ч электроэнергии и 500 кг металлорежущего инструмента.

## **1. Характеристики наплавочных материалов и особенности наплавки на различные стали**

В качестве износостойкой наплавки используют следующие материалы: сплавы на основе никеля и кобальта, карбидосодержащие сплавы на основе железа (белые чугуны), стали мартенситного класса, стали аустенитного класса.

Сплавы на основе никеля и кобальта имеют весьма высокие показатели совокупности механических свойств наплавленного слоя. Однако высокая стоимость этих материалов накладывает серьезные ограничения их применения.

Карбидосодержащие сплавы, имеющие в своей структуре ледебуритную эвтектику, хорошо себя проявляют в условиях абразивного изнашивания. В наплавленных слоях образуется сетка трещин, не представляющая опасности для работоспособности детали. Для противодействия ударным нагрузкам можно рекомендовать наплавку мягкого подслоя, демпфирующего ударные нагрузки.

Стали мартенситного класса имеют высокую износостойкость при трении сопряженных металлических деталей.

Стали аустенитного класса, упрочняемые наклепом, имеют высокую износостойкость в процессе изнашивания под действием ударных нагрузок. Характерным примером является сталь Гадфильда 110Г13.

Все износостойкие наплавочные материалы имеют высокую твердость, превышающую твердость 50 НРС. Поэтому обработка наплавленного слоя целесообразна абразивным инструментом.

При наплавке следует учитывать особенности стали, из которой изготовлена деталь. Склонность основного металла к образованию трещин обусловлена его способностью к закалке в процессе термического цикла наплавки. Эта способность определяется значением эквивалентного содержания углерода, определяемого по формуле:

$$C_{\text{экв}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cr}{15}.$$

Значение  $C_{\text{экв}}$  менее 0,25 определяет хорошую свариваемость, в этом случае нет необходимости в предварительном подогреве.

Значение  $C_{\text{экв}}$  — 0,25–0,35 характеризует удовлетворительную свариваемость, в этом случае при необходимости можно рекомендовать предварительный подогрев 100–200 °С.

Значение  $C_{\text{экв}}$  — 0,35–0,45 характеризует ограниченную свариваемость, в этом случае при необходимости можно рекомендовать предварительный подогрев 200–300 °С.

Значение  $C_{\text{экв}}$  более 0,45 характеризует плохую свариваемость, в этом случае при необходимости можно рекомендовать предварительный подогрев 300–500 °С.

## 2. Металлографические исследования наплавленного слоя

С 2020 года от владельцев пассажирских вагонов поступили в адрес производителя претензии к наличию трещин наплавленного слоя автосцепок. Необходимо понять, насколько данные трещины опасны в эксплуатации.

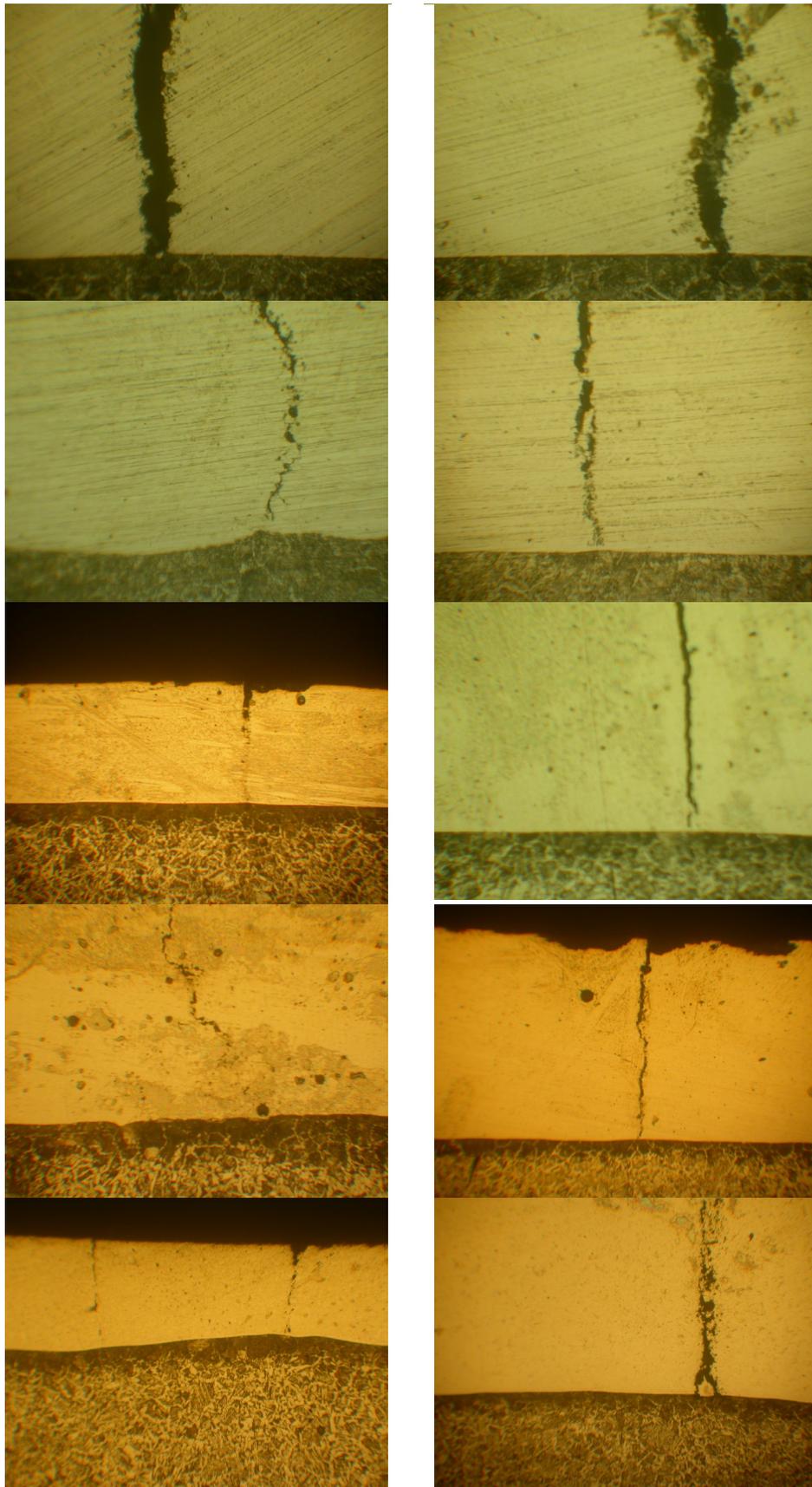
В соответствии с ГОСТ Р 57177—2016 п. 9.2 в наплавленном ИМС слое «для деталей, изготовленных из низкоуглеродистых и низколегированных литых сталей, допускается наличие сетки горячих трещин, не превышающей в сумме 20 % площади наплавленной поверхности» [8].

Причина образования трещин связана с высокой хрупкостью наплавленного соя (белый чугун). В процессе кристаллизации происходит усадка металла, что и приводит к образованию трещин в хрупких металлах.

По результатам проведенных многочисленных металлографических исследований образцов автосцепок было выявлено, что трещины в наплавленном слое не распространяются в тело корпуса автосцепки в связи с различной структурой металла.

Толщина вырезанных образцов малого зуба корпуса автосцепки составляла порядка 4–6 см, далее проводилась вырезка из образцов микрошлифов, толщина которых составляет порядка 1–2 см. Микрошлиф представляет собой четырехгранный призматический объект с заполированной рабочей поверхностью, впоследствии протравленный 4%-м раствором азотной кислоты в этиловом спирте. В состав образца входят основной металл и наплавленный слой. Схема вырезки образцов определяется по направлению трещин в наплавленном слое.

На рисунке представлена микроструктура наплавленного слоя и основного металла 10 образцов, общее количество исследованных образцов — более 50 шт.



Микроструктура наплавленного слоя и основного металла образцов

Трещины в наплавленном слое образцов залегают на различную глубину толщины наплавленного слоя и не распространяются в основной металл корпуса автосцепки, блокируются на границе раздела, что подтверждено фотографиями, приведенными на рисунке, ввиду того что вязкость разрушения основного металла значительно выше вязкости разрушения наплавленного слоя.

Вязкость стали, из которой изготавливаются автосцепки (20 ГЛ), гораздо выше вязкости наплавленного слоя, представляющего собой белый чугун (хрупкий материал). Это является общепринятым научным фактом, обусловленным используемым материалом, — ударная вязкость марганцовистой стали, из которой изготавливается отливка корпуса СА-3, составляет  $15 \text{ Дж/см}^2$  [9], значительно превышает вязкость наплавленного слоя из углеродосодержащих порошков износостойкого сплава (шихты) ПГС27, УСЧ-31, УСЧ-3 5 [10].

В соответствии с п. 4.1 [11] детали после наплавки должны соответствовать конструкторской документации. Следовательно, после наплавки основной металл корпуса автосцепки должен соответствовать требованиям [9]. Корпус автосцепки относится к деталям первой группы. Детали первой группы подвергаются закалке в воде и высокому отпуску. Твердость деталей первой группы должна быть в пределах от 192 до 262 НВ, что значительно ниже твердости наплавленного ИМС слоя (минимальная твердость 45 HRC, что соответствует 430 НВ) [12, 13]. Временное сопротивление материала корпуса автосцепки должно быть не менее 600 МПа, относительное удлинение не менее — 12 %, относительное сужение — не менее 25 %, ударная вязкость при температуре  $-600 \text{ }^\circ\text{C}$  на образце с U-образным надрезом — не менее  $25 \text{ Дж/см}^2$ , на образце с V-образным надрезом — не менее  $15 \text{ Дж/см}^2$ . Согласно [9] для корпусов автосцепок определяется нагрузка текучести, то есть материал корпуса имеет площадку текучести. Такой материал относится к пластичным или, как их еще называют, вязким материалам [14]. Материал хорошо поглощает механическую энергию и за счет этого блокирует развитие трещин. Возникшей в твердом наплавленном слое трещине энергетически невыгодно развиваться в вязкий основной металл корпуса автосцепки. Поэтому нет угрозы перехода трещины из твердого наплавленного слоя в вязкий металл корпуса автосцепки.

## **Заключение**

Для повышения качества наплавленного слоя и исключения возможности образования трещин следует использовать наплавочные материалы, которые в совокупности с флюсом обеспечат химический состав наплавленного слоя, идентичный стали 110Г13Л. При этом следует добиваться высокой скорости охлаждения наплавленного слоя во избежание выделения карбидной фазы из аустенита. Высокоуглеродистый аустенит этой стали эффективно упрочняется наклепом в процессе эксплуатации, сохраняя при этом высокую вязкость и пластичность.

## Библиографический список

1. Воробьев А. А. Разработка рекомендаций по восстановлению деталей подвижного состава железнодорожного транспорта / А. А. Воробьев, И. А. Иванов, А. А. Соболев // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. — 2010. — № 1. — С. 146–149.
2. Иванов И. А. К вопросу о влиянии структуры поверхности слоя на эксплуатационные свойства железнодорожного колеса / И. А. Иванов, С. И. Губенко, А. А. Воробьев // Транспорт Урала. — 2010. — № 2(25). — С. 56–60.
3. Воробьев А. А. Разработка рекомендаций по режимам обработки колесных пар повышенной твердости / А. А. Воробьев, И. А. Иванов, В. С. Кушнер и др. // Транспорт Урала. — 2009. — № 2(21). — С. 48–51.
4. Воробьев А. А. Испытания колесных стале́й на износ и контактную усталость / А. А. Воробьев, Д. Е. Керенцев, И. В. Федоров // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2017. — Т. 14. — № 4. — С. 628–636.
5. Воробьев А. А. Исправление литейных дефектов деталей тележки 18-100 грузового вагона на АО «Востокмашзавод» / А. А. Воробьев, А. А. Соболев, А. В. Павлов // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. — 2016. — № 3(35). — С. 73–77.
6. Меркулова П. А. Современные методы повышения работоспособности автосцепок железнодорожных вагонов / П. А. Меркулова, А. А. Воробьев, В. Г. Кондратенко // Повышение работоспособности деталей и узлов подвижного состава железнодорожного и автомобильного транспорта: сборник трудов Национальной научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. — 2022. — С. 111–118.
7. Веселков К. В. Анализ методов восстановления деталей автосцепки / К. В. Веселков, А. А. Воробьев // Прогрессивные технологии, применяемые при ремонте подвижного состава РЖД: сборник трудов конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. — 2017. — С. 86–88.
8. ГОСТ Р 57177—2016. Национальный стандарт российской федерации. Индукционно-металлургический способ наплавки. Технологический процесс.
9. ГОСТ 22703—2012. Детали литые сцепных и автосцепных устройств железнодорожного подвижного состава. Общие технические условия.
10. ГОСТ 21448—75. Порошки из сплавов для наплавки. Технические условия.
11. ТУ 318700-072-17368431—2014. Технические условия (для ремонтных деталей) «Износостойкая наплавка ИМС (индукционно-металлургическим способом) деталей локомотивов, моторвагонного подвижного состава, пассажирских вагонов локомотивной тяги колеи 1520 мм».
12. ГОСТ Р 57898—2017. Национальный стандарт Российской Федерации. Индукционно-металлургический способ наплавки. Наплавочные материалы.
13. ТУ 318700-071-17368431—2014. Технические условия (для нового вагоностроения) «Износостойкое покрытие ИМС (индукционно-металлургическим способом) деталей локомо-

тивов, моторвагонного подвижного состава, пассажирских вагонов локомотивной тяги колеи 1520 мм».

14. Биргер И. А. Расчет на прочность деталей машин: Справочник / И. А. Биргер, Б. Ф. Шорр, Г. Б. Иосилевич. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1979. — 702 с.

Дата поступления: 05.02.2023

Решение о публикации: 27.02.2023

#### **Контактная информация:**

САМАРКИНА Ирина Константиновна — канд. техн. наук, доц.; irina\_samarkina@inbox.ru

СОБОЛЕВ Александр Альбертович — канд. техн. наук, доц.; a89213194387@yandex.ru

БИТЮЦКИЙ Никита Александрович — канд. техн. наук, доц.; bna@engcenter.ru

ПАВЕЛЬЕВ Игорь Викторович — igor\_tpts@mail.ru

СТОПНИЦКИЙ Станислав Альфредович — prig98@yandex.ru

## **Investigation of Crack Appearance and Development at Strengthening Rolling Stock Parts by Inductive-Metallurgical Method**

**I. K. Samarkina<sup>1</sup>, A. A. Sobolev<sup>1</sup>, N. A. Bityutsky<sup>1</sup>, I. V. Paveliev<sup>2</sup>, S. A. Stopnitsky<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

<sup>2</sup> LLC RemTransMash, 35, building 1, letter a, room 49-n, office 2, Smolenki River Embankment, Saint Petersburg, 199155, Russian Federation

**For citation:** Samarkina I. K., Sobolev A. A., Bityutsky N. A., Paveliev I. V., Stopnitsky S. A. Investigation of Crack Appearance and Development at Strengthening Rolling Stock Parts by Inductive-Metallurgical Method. *Bulletin of scientific research results*, 2023, iss. 1, pp. 105–113. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2023-1-105-113

#### **Summary**

**Purpose:** To conduct study to obtain data on the appearance and propagation of cracks in the layer that's welded by induction-metallurgical method, cracks' impact on exploitation safety of a part and its service age.

**Methods:** Using metallographic studies, the analysis of samples of automatic coupler device with layer, welded by inductive-metallurgical way, was carried out. **Results:** According to the study results, it was confirmed that cracks do not propagate from welded layer into main metal of a part. **Practical significance:** The conducted study of crack presence and propagation estimation made it possible to prove further safe exploitation of a part without its performance loss or its structure or technical characteristics deterioration.

**Keywords:** Induction-metallurgical method, rolling stock parts, strengthening, welded layer, wear-resistant coating, automatic coupler, resource, service age.

## References

1. Vorob'ev A. A., Ivanov I. A., Sobolev A. A. Razrabotka rekomendatsiy po vosstanovleniyu detaley podvizhnogo sostava zheleznodorozhnogo transporta [Development of recommendations for the restoration of parts of the rolling stock of railway transport]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'negu Vostoka* [Scientific problems of transport of Siberia and the Far East]. 2010, Iss. 1, pp. 146–149. (In Russian)

2. Ivanov I. A., Gubenko S. I., Vorob'ev A. A. K voprosu o vliyaniy struktury poverkhnosti sloya na ekspluatatsionnye svoystva zheleznodorozhnogo koleasa [On the influence of the layer surface structure on the operational properties of a railway wheel]. *Transport Urala* [Transport of the Urals]. 2010, Iss. 2(25), pp. 56–60. (In Russian)

3. Vorob'ev A. A., Ivanov I. A., Kushner V. S. et al. Razrabotka rekomendatsiy po rezhimam obrabotki kolesnykh par povyshennoy tverdosti [Development of recommendations on treatment modes for wheel sets of increased hardness]. *Transport Urala* [Transport of the Urals]. 2009, Iss. 2(21), pp. 48–51. (In Russian)

4. Vorob'ev A. A., Kerentsev D. E., Fedorov I. V. Ispytaniya kolesnykh staley na iznos i kontaktnuyu ustalost' [Testing of wheel steels for wear and contact fatigue]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Proceedings of Petersburg Transport University]. 2017, vol. 14, Iss. 4, pp. 628–636. (In Russian)

5. Vorob'ev A. A., Sobolev A. A., Pavlov A. V. Ispravlenie liteynykh defektov detaley telezhki 18-100 gruzovogo vagona na AO "Vostokmashzavod" [Correction of casting defects in parts of the bogie 18-100 of a freight car at Vostokmashzavod JSC]. *Vestnik Instituta problem estestvennykh monopoliy: Tekhnika zheleznykh dorog* [Bulletin of the Institute of Problems of Natural Monopolies: Iron Technology roads]. 2016, Iss. 3(35), pp. 73–77. (In Russian)

6. Merkulova P. A., Vorob'ev A. A., Kondratenko V. G. *Sovremennyye metody povysheniya rabotosposobnosti avtostsepek zheleznodorozhnykh vagonov. Povyshenie rabotosposobnosti detaley i uzlov podvizhnogo sostava zheleznodorozhnogo i avtomobil'nogo transporta: sbornik trudov Natsional'noy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, magistrantov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Modern methods of improving the efficiency of automatic couplers of railway cars. Improving the efficiency of parts and components of the rolling stock of railway and road transport: a collection of works of the National Scientific-technical conference of students, undergraduates, graduate students and young scientists]. 2022, pp. 111–118. (In Russian)

7. Veselkov K. V., Vorob'ev A. A. *Analiz metodov vosstanovleniya detaley avtostseпки. Progressivnyye tekhnologii, primenyaemye pri remonte podvizhnogo sostava RZhD: sbornik trudov konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Analysis of methods for restoring automatic coupler parts. Progressive technologies used in the repair of rolling stock of Russian Railways: a collection of proceedings of the conference of students, graduate students and young scientists]. 2017, pp. 86–88. (In Russian)

8. *GOST R 57177—2016. Natsional'nyy standart rossiyskoy federatsii. Induktsionno-metallurgicheskiy sposob naplavki. Tekhnologicheskii protsess* [GOST R 57177—2016. National

standard of the Russian Federation. Induction-metallurgical method of surfacing. Technological process]. (In Russian)

9. *GOST 22703—2012. Detali litye stsepykh i avtostsepykh ustroystv zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava. Obshchie tekhnicheskie usloviya* [GOST 22703—2012. Cast parts for coupling and automatic couplers of railway rolling stock. General specifications]. (In Russian)

10. *GOST 21448—75. Poroshki iz splavov dlya naplavki. Tekhnicheskie usloviya* [GOST 21448—75. Powders from alloys for surfacing. Specifications]. (In Russian)

11. *TU 318700-072-17368431—2014. Tekhnicheskie usloviya (dlya remontnykh detaley) “Iznosostoykaya naplavka IMS (induktsionno-metallurgicheskim sposobom) detaley lokomotivov, motorvagonnogo podvizhnogo sostava, passazhirskikh vagonov lokomotivnoy tyagi kolei 1520 mm”* [TU 318700-072-17368431-2014. Specifications (for repair parts) “Wear-resistant surfacing of IMC (induction-metallurgical method) of parts of locomotives, multiple unit rolling stock, passenger cars of locomotive traction with a gauge of 1520 mm”]. (In Russian)

12. *GOST R 57898—2017. Natsional’nyy standart Rossiyskoy Federatsii. Induktsionno-metallurgicheskiy sposob naplavki. Naplavochnye materialy* [GOST R 57898—2017. National standard of the Russian Federation. Induction-metallurgical method of surfacing. Surfacing materials]. (In Russian)

13. *TU 318700-071-17368431—2014. Tekhnicheskie usloviya (dlya novogo vagonostroeniya) “Iznosostoykoe pokrytie IMS (induktsionno-metallurgicheskim sposobom) detaley lokomotivov, motorvagonnogo podvizhnogo sostava, passazhirskikh vagonov lokomotivnoy tyagi kolei 1520 mm”* [TU 318700-071-17368431-2014. Specifications (for new car building) “Wear-resistant coating of IMC (by induction-metallurgical method) for parts of locomotives, multiple unit rolling stock, passenger cars of locomotive traction with a gauge of 1520 mm”]. (In Russian)

14. Birger I. A., Shorr B. F., Iosilevich G. B. *Raschet na prochnost’ detaley mashin: Spravochnik, 3-e izd., pererab. i dop.* [Calculation of the strength of machine parts: a Handbook, 3rd ed., revised. and additional]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1979, 702 p. (In Russian)

Received: February 5, 2023

Accepted: February 27, 2023

#### **Author’s information:**

Irina K. SAMARKINA — PhD in Engineering, Associate Professor; irina\_samarkina@inbox.ru

Aleksander A. SOBOLEV — PhD in Engineering, Associate Professor; a89213194387@yandex.ru

Nikita A. BITYUTSKY — PhD in Engineering, Associate Professor; bna@engcenter.ru

Igor V. PAVELIEV — igor\_tpts@mail.ru

Stanislav A. STOPNITSKY — prig98@yandex.ru